

4

T/EP 00/01800

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

09/890656



REC'D 07 APR 2000

WIPO PCT

EP 00/1800

Bescheinigung

Die Wacker Siltronic Gesellschaft für Halbleitermaterialien AG in Burghausen, Salzach/
Deutschland hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Halbleiterscheibe mit dünner epitaktischer Schicht und
Verfahren zur Herstellung der Halbleiterscheibe"

am 3. Februar 2000 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht und erklärt,
dass sie dafür die Innere Priorität der Anmeldung in der Bundesrepublik Deutschland
vom 4. März 1999, Aktenzeichen 199 09 557.4, in Anspruch nimmt.

Das angeheftete Stück ist eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprüngli-
chen Unterlage dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig die Symbole
H 01 L und C 30 B der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 10. März 2000

Deutsches Patent- und Markenamt

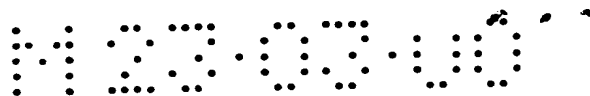
Der Präsident

Im Auftrag

Nietiedt

Aktenzeichen: 100 04 623.1

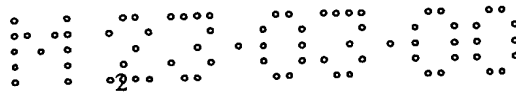
PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)



Halbleiterscheibe mit dünner epitaktischer Schicht und Verfahren zur Herstellung der Halbleiterscheibe

Die Erfindung betrifft eine Halbleiterscheibe mit einer dünnen
5 epitaktischen Schicht und ein Verfahren zur Herstellung der
Halbleiterscheibe durch Abscheiden der Schicht auf einer
Substratscheibe aus Silicium.

Derzeit sind intensive Untersuchungen im Gang, durch die
10 festgestellt werden soll, welche Merkmale Halbleiterscheiben
mit epitaktischer Schicht haben müssen, um sie als
Grundmaterial für die Herstellung von modernen CMOS
Bauelementen zu qualifizieren. Gemäß der Veröffentlichung in
Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 36 (1997), pp 2565-2570 ist eine
15 Halbleiterscheibe bestehend aus einer p^- - dotierten
Substratscheibe und einer ebenfalls p^- - dotierten
epitaktischen Schicht mit einer Dicke von 1 μm für hoch
integrierte CMOS-Anwendungen besonders geeignet. Diese
Einschätzung wird auch durch die Veröffentlichung in
20 Electrochemical Society Proceedings Volume 98-1, S.855-861
gestützt. Allerdings wird in diesem Papier auch auf
lichtstreuende Defekte (Lichtpunktdefekte) auf der Oberfläche
hingewiesen, die bei einer Halbleiterscheibe mit dünner
epitaktischer Schicht auftreten, sich aber nicht nachteilig auf
den GOI (gate oxide integrity) auswirken. Die genannten Defekte
heißen in Fachkreisen LLSs (localized light scatterers). Trotz
ihres indifferenten Verhaltens in Bezug auf den GOI sind die
LLSs bei den Herstellern von integrierten Schaltkreisen
unerwünscht, was sich auch darin zeigt, daß die ITRS
30 (International Roadmap For Semiconductors) verlangt, daß die
Anzahl von LLSs mit einer Größe von größer oder gleich 0,085 μm
kleiner oder gleich 38 pro Halbleiterscheibe mit epitaktischer
Schicht ist. Diese Anforderung gilt für die 0,18 μm Technologie
und es ist davon auszugehen, daß mit fortschreitender
35 Miniaturisierung (0,13 μm und kleiner) eine noch schärfere
Anforderung an die Anzahl von LLS gestellt werden wird. Darüber
hinaus stellt der Grenzwert von 38 LLS einen Maximalwert dar



und es ist zu beachten, daß die für die industrielle Prozeßfähigkeit geforderte Zahl deutlich darunter liegen muß.

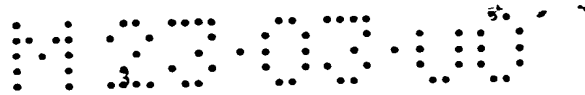
Die Aufgabe der Erfindung bestand darin, eine Halbleiterscheibe mit epitaktischer Schicht bereitzustellen, die für moderne CMOS-Anwendungen geeignet ist, eine besonders geringe Anzahl an LLSs aufweist und vergleichsweise geringe Herstellungskosten erfordert. Aufgabe der Erfindung ist darüber hinaus, ein Verfahren zur Herstellung der Halbleiterscheibe anzugeben.

Gegenstand der Erfindung ist eine Halbleiterscheibe, bestehend aus einer Substratscheibe aus Silicium und einer darauf abgeschiedenen epitaktischen Schicht, die dadurch gekennzeichnet ist, daß die Substratscheibe einen spezifischen Widerstand von 0,1 bis 50 Ωcm , eine Sauerstoffkonzentration von kleiner als $7,5 \cdot 10^{17} \text{ atcm}^{-3}$ und eine Stickstoffkonzentration von $1 \cdot 10^{13}$ bis $5 \cdot 10^{15} \text{ atcm}^{-3}$ aufweist, und die epitaktische Schicht 0,2 bis 1,0 μm dick ist und eine Oberfläche besitzt, auf der weniger als 30 LLSs-Defekte mit einer Größe von mehr als 0,085 μm nachweisbar sind.

Gegenstand der Erfindung ist auch ein Verfahren zur Herstellung einer Halbleiterscheibe mit einer epitaktischen Schicht durch Abscheiden der Schicht auf einer Substratscheibe aus Silicium, das durch eine Folge von Schritten gekennzeichnet ist, umfassend:

das Bereitstellen der Substratscheibe, wobei die Substratscheibe einen spezifischen Widerstand von 0,1 bis 50 Ωcm , eine Sauerstoff-Konzentration von kleiner als $7,5 \cdot 10^{17} \text{ atcm}^{-3}$ und eine Stickstoff-Konzentration von $1 \cdot 10^{13}$ bis $5 \cdot 10^{15} \text{ atcm}^{-3}$ aufweist;

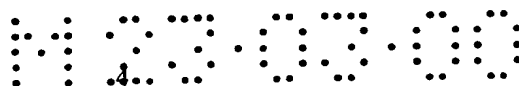
das Aufheizen der Substratscheibe in einem Abscheidereaktor auf eine Abscheidetemperatur von mindestens 1120 °C; und unmittelbar nach dem Erreichen der Abscheidetemperatur das Abscheiden der epitaktischen Schicht mit einer Dicke von 0,2 bis 1,0 μm .



Untersuchungen der Erfinder haben ergeben, daß die Kombination der genannten Verfahrensschritte und die Berücksichtigung der genannten Stoffparameter eine Halbleiterscheibe mit epitaktischer Schicht zugänglich macht, die den gestellten Anforderungen in vollem Umfang genügt. Im Hinblick auf die Vermutung, die aus dem genannten Stand der Technik herzuleiten ist, wonach die Anzahl von LLSs nur durch eine möglichst dicke epitaktische Schicht ($\geq 3 \mu\text{m}$) gering gehalten werden kann, ist das Ergebnis der Untersuchungen überraschend, weil es zeigt, daß äußerst niedrige LLSs-Dichten auch mit Schichtdicken von 0,2 bis $1 \mu\text{m}$ möglich sind. Die geringen Schichtdicken und die Tatsache, daß das vorgeschlagene Verfahren ohne einen sogenannten Bake-Schritt vor dem Abscheiden der epitaktischen Schicht auskommt, begründen einen deutlichen Kostenvorteil gegenüber bekannten Verfahren. So kann der Durchsatz an Halbleiterscheiben pro Stunde um bis zum Dreifachen gesteigert werden.

Um die erforderlichen Eigenschaften hinsichtlich der LLSs-Dichte zu erreichen, ist eine Substratscheibe erforderlich, die einen spezifischen Widerstand von 0,1 bis $50 \Omega\text{cm}$, eine Sauerstoff-Konzentration von kleiner als $7,5 \cdot 10^{17} \text{ atcm}^{-3}$, besonders bevorzugt von kleiner als $6,5 \cdot 10^{17} \text{ atcm}^{-3}$ und eine Stickstoff-Konzentration von $1 \cdot 10^{13}$ bis $5 \cdot 10^{15} \text{ atcm}^{-3}$, besonders bevorzugt von $1 \cdot 10^{14}$ bis $5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ aufweist, und vorzugsweise aus einem nach der Czochralski-Methode gezogenen Einkristall geschnitten wird. Was das Abscheiden der epitaktischen Schicht betrifft, ist wichtig, daß unter Berücksichtigung des Typs der Substratscheibe bei einer Abscheidetemperatur von 1120 bis 1200 °C abgeschieden wird. Eine erhöhte Abscheidetemperatur hat dabei den prinzipiellen Vorteil einer Reduktion sogenannter „Area Counts“, das heisst großer Fehler auf der epitaktischen Schicht, die zu Ausbeuteverlusten bei den Halbleiterbauelementherstellern führen können.

Ein Einkristall, aus dem Substratscheiben mit den genannten Eigenschaften abgetrennt werden können, kann beispielsweise



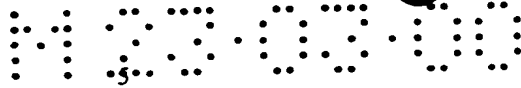
nach einem Verfahren hergestellt werden, wie es in der DE-198 23 962 A beschrieben ist. Bei dem Verfahren wird der Einkristall nach der Czochralski-Methode aus einer Schmelze gezogen und währenddessen zusätzlich mit Stickstoff dotiert.

5 Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung vergehen mindestens 90 min bis gerade kristallisiertes Material des Einkristalls den Temperaturbereich von 1050 bis 900°C durchlaufen hat. Dies ist normalerweise dann der Fall, wenn der Einkristall von sich aus abkühlt, das heißt, auf eine Zwangskühlung des Einkristalls
10 verzichtet wird. Die epitaktische Schicht wird auf einer Substratscheibe, die aus einem solchermaßen gezogenen Einkristall stammt und nachfolgend als Typ I Substratscheibe bezeichnet wird, bei einer Abscheidetemperatur von 1120 bis 1170 °C, vorzugsweise von 1130 bis 1160 °C abgeschieden.

15

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird der Einkristall nach dem Czochralski-Verfahren gezogen und dabei zwangsgekühlt. Dadurch vergehen höchstens 40 min bis gerade kristallisiertes Material des Einkristalls den
20 Temperaturbereich von 1050 bis 900°C durchlaufen hat. Die Ziehanlage ist mit einer Zwangskühlung zu versehen, um das rasche Abkühlen des Einkristalls zu gewährleisten. Vorzugsweise wird eine Kühlvorrichtung gemäß der EP-725 169 A1 beim Ziehen des Einkristalls verwendet. Die epitaktische Schicht wird auf einer Substratscheibe, die aus einem solchermaßen gezogenen Einkristall stammt und nachfolgend als Typ II Substratscheibe bezeichnet wird, bei einer Abscheidetemperatur von 1120 bis 1200 °C, vorzugsweise von 1130 bis 1190 °C abgeschieden, was
30 einem deutlich breiteren Prozeßfenster in der Epi Abscheidung gegenüber Typ I entspricht und damit eine Optimierung hinsichtlich Wirtschaftlichkeit deutlich erleichtert.

Zum Abscheiden der epitaktischen Schicht wird die Substratscheibe in einen Abscheidereaktor geladen. Bevorzugt
35 ist ein Einzelscheibenreaktor mit automatischem Scheibenbe- und entlademechanismus. Die Temperatur im Reaktor sollte beim Beladen bereits einen vergleichsweise hohen Wert haben, mindestens jedoch 800 °C. Bevorzugt ist eine Temperatur von



mindestens 850 °C, besonders bevorzugt eine Temperatur von mindestens 900 °C.

Anschließend wird die Substratscheibe in einer Gasatmosphäre auf eine Abscheidetemperatur aufgeheizt. Die Gasatmosphäre wird vorzugsweise aus einer Gruppe von Gasen ausgewählt, die Wasserstoff, Argon, Helium und beliebige Mischungen der genannten Gase umfaßt. Besonders bevorzugt ist eine Gasatmosphäre aus Wasserstoff.

10

Sobald die Abscheidetemperatur erreicht ist, wird mit dem Abscheiden der epitaktischen Schicht mit einer Dicke von 0,2 bis 1 µm, bevorzugt 0,3 bis 0,6 µm begonnen, indem der Gasatmosphäre eine Atmosphäre von Abscheidegas und

Dotierstoffgas hinzugefügt wird. Ein sogenannter Bake-Schritt, bei dem die Substratscheibe in der Gasatmosphäre einige Zeit, beispielsweise 5 bis 60 s auf Abscheidetemperatur gehalten wird, wird nicht vorgenommen. Das Abscheidegas wird vorzugsweise ausgewählt aus einer Gruppe von Gasen, die Trichlorsilan, Silan, Dichlorsilan, Tetrachlorsilan und beliebige Mischungen der genannten Gase umfaßt. Besonders bevorzugt ist Trichlorsilan. Das Dotierstoffgas wird vorzugsweise ausgewählt aus einer Gruppe von Gasen, die Diboran, Phosphin und Arsin umfaßt. Besonders bevorzugt ist Diboran.

20

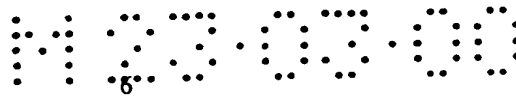
Die Abscheidezeit beträgt vorzugsweise 1 bis 10 s, besonders bevorzugt 1 bis 5 s. Weiterhin ist bevorzugt, den spezifischen Widerstand der epitaktischen Schicht auf 0,5 bis 50 Ωcm einzustellen.

30

Nach dem Abscheiden der epitaktischen Schicht wird die Halbleiterscheibe vorzugsweise in einer Atmosphäre aus Wasserstoff auf eine Entladetemperatur von vorzugsweise 850 bis 950 °C gebracht und aus dem Abscheidereaktor entladen.

35

Es können mindestens 50, vorzugsweise bis zu 200 Substratscheiben in Folge beschichtet werden, bevor der



Abscheidereaktor mit einem Ätzgas oder einem Plasma gereinigt werden muß.

Erfindungsgemäß hergestellte Halbleiterscheiben wurden im
5 Hinblick auf LLSs mit konventionell hergestellten Halbleiterscheiben verglichen.

Beispiel:

10 Die erfindungsgemäß hergestellten Halbleiterscheiben bestanden aus einer Substratscheibe aus Silicium mit einem spezifischen Widerstand von $12 \Omega\text{cm}$ (p^- - Dotierung), auf die eine epitaktische Schicht mit einer Schichtdicke von $0,5 \mu\text{m}$ und einem spezifischen Widerstand von $1,5 \Omega\text{cm}$ aufgewachsen worden
15 war. Die Abscheidetemperatur betrug von 1130 bis 1190°C . Die Substratscheiben waren vom Typ I und vom Typ II.

Bei den konventionell hergestellten Halbleiterscheiben stammten die Substratscheiben aus einem Einkristall, der nach der
20 Czochralski-Methode gezogen wurde, ohne daß eine Dotierung mit Stickstoff erfolgte. Substratscheiben aus einem derartig gezogenen Einkristall werden nachfolgend als Referenz I Substratscheiben bezeichnet, wenn der Einkristall ohne Zwangskühlung abgekühlt worden war. Bei den als Referenz II Substratscheiben bezeichneten Substratscheiben wurde der entsprechende Einkristall zwangsgekühlt. Das Abscheiden der epitaktischen Schicht erfolgte unter denselben Bedingungen wie bei den erfindungsgemäß hergestellten Halbleiterscheiben.

30 Die nachfolgenden Tabellen 1 und 2 belegen, daß der kombinierten Auswahl von Substratscheibe und Abscheidetemperatur eine entscheidende Bedeutung zufällt, wenn es darum geht die Anzahl von LLSs zu minimieren.

Tabelle 1:

LLS>0.085 μm	Typ I Substrat- scheibe ^{*)}	Referenz I Substratscheibe ^{*)}
1130°C Abscheidetemp.	18 (+)	40 (-)
1190°C Abscheidetemp.	98 (-)	1167 (-)

Tabelle 2:

5

LLS>0.085 μm	Typ II Substrat- scheibe ^{*)}	Referenz II Substratscheibe ^{*)}
1130°C Abscheidetemp.	15 (+)	820 (-)
1190°C Abscheidetemp.	12 (+)	1389 (-)

^{*)} +/-: erfüllt/erfüllt nicht die Anforderungen modernster Bauelemente-Generationen

- 10 Darüber hinaus ist der dramatische Durchsatz-Vorteil der erfindungsgemäß hergestellten Scheiben gegenüber konventionell epitaxiierten Scheiben aus Tabelle 3 ersichtlich. Der Durchsatz-Vorteil schlägt sich direkt in einem entsprechenden Kostenvorteil nieder.

15

Tabelle 3:

	erfindungsgemäße Halbleiterscheibe	Referenzscheibe ^{***)}
Durchsatz (Scheiben / Stunde) ^{**)}	90	30
Relative Kosten der Epi Beschichtung pro Scheibe	0,33	1

^{**)} für einen 3-Kammer Einzelscheiben-Reaktor

20 ^{***)} 3 μm Standard Epi

M 23 03 00

Patentansprüche:

1. Halbleiterscheibe, bestehend aus einer Substratscheibe aus Silicium und einer darauf abgeschiedenen epitaktischen Schicht, dadurch gekennzeichnet, daß die Substratscheibe einen spezifischen Widerstand von 0,1 bis 50 Ωcm , eine Sauerstoffkonzentration von kleiner als $7,5 \cdot 10^{17} \text{ atcm}^{-3}$ und eine Stickstoffkonzentration von $1 \cdot 10^{13}$ bis $5 \cdot 10^{15} \text{ atcm}^{-3}$ aufweist, und die epitaktische Schicht 0,2 bis 1,0 μm dick ist und eine Oberfläche besitzt, auf der weniger als 30 LLSs-Defekte mit einer Größe von mehr als 0,085 μm nachweisbar sind.

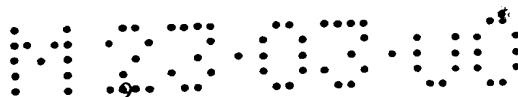
2. Halbleiterscheibe nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Sauerstoffkonzentration der Substratscheibe kleiner als $6,5 \cdot 10^{17} \text{ atcm}^{-3}$ ist.

3. Halbleiterscheibe nach Anspruch 2 oder Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Stickstoffkonzentration der Substratscheibe in einem Bereich von $1 \cdot 10^{14}$ bis $5 \cdot 10^{14} \text{ atcm}^{-3}$ liegt.

4. Verfahren zur Herstellung einer Halbleiterscheibe mit einer epitaktischen Schicht durch Abscheiden der Schicht auf einer Substratscheibe aus Silicium, gekennzeichnet durch eine Folge von Schritten, umfassend:
das Bereitstellen der Substratscheibe, wobei die Substratscheibe einen spezifischen Widerstand von 0,1 bis 50 Ωcm , eine Sauerstoffkonzentration von kleiner als $7,5 \cdot 10^{17} \text{ atcm}^{-3}$ und eine Stickstoffkonzentration von $1 \cdot 10^{13}$ bis $5 \cdot 10^{15} \text{ atcm}^{-3}$ aufweist;
das Aufheizen der Substratscheibe in einem Abscheidereaktor auf eine Abscheidetemperatur von mindestens 1120 $^{\circ}\text{C}$; und
unmittelbar nach dem Erreichen der Abscheidetemperatur das Abscheiden der epitaktischen Schicht mit einer Dicke von 0,2 bis 1,0 μm .

35

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein Einkristall gemäß dem Czochralski-Verfahren aus einer Schmelze gezogen wird, und mindestens 90 min vergehen bis der



Einkristall den Temperaturbereich von 1050 bis 900°C durchlaufen hat, wobei der Einkristall als Quelle für die Bereitstellung der Substratscheibe dient, und die Abscheidetemperatur beim Abscheiden der epitaktischen Schicht
5 1120 bis 1170 °C beträgt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Abscheidetemperatur 1130 bis 1160 °C beträgt.

10 7. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein Einkristall gemäß dem Czochralski-Verfahren aus einer Schmelze gezogen wird, und nicht mehr als 40 min vergehen bis der Einkristall unter Anwendung einer Zwangskühlung den Temperaturbereich von 1050 bis 900°C durchlaufen hat, wobei der
15 Einkristall als Quelle für die Bereitstellung der Substratscheibe dient, und die Abscheidetemperatur beim Abscheiden der epitaktischen Schicht 1120 bis 1200 °C beträgt.

20 8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Abscheidetemperatur 1130 bis 1190 °C beträgt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Substratscheibe in einer Gasatmosphäre auf Abscheidetemperatur aufgeheizt wird, wobei die Gasatmosphäre ausgewählt ist aus einer Gruppe von Gasen, die Wasserstoff, Argon, Helium und beliebige Mischungen der genannten Gase umfaßt.

30 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die epitaktische Schicht in einer Abscheideatmosphäre abgeschieden wird, die ein Abscheidegas und ein Dotierstoffgas enthält, wobei das Abscheidegas ausgewählt ist aus einer Gruppe von Gasen, die Trichlorsilan, Silan, Dichlorsilan, Tetrachlorsilan und beliebige Mischungen der
35 genannten Gase umfaßt, und das Dotierstoffgas ausgewählt ist aus einer Gruppe von Gasen, die Diboran, Phosphin und Arsin umfaßt.

11.03.03.00

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die epitaktische Schicht innerhalb von einer Abscheidezeit von 1 bis 10 s abgeschieden wird.

- 5 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Abscheidereaktor frühestens einer Reinigung mit einem Ätzgas oder Plasma unterzogen wird, nachdem auf 50 Substratscheiben in Folge eine epitaktische Schicht abgeschieden worden ist.

H 23 03 00

Zusammenfassung:**Halbleiterscheibe mit dünner epitaktischer Schicht und
Verfahren zur Herstellung der Halbleiterscheibe**

- 5 Gegenstand der Erfindung ist eine Halbleiterscheibe bestehend
aus einer Substratscheibe aus Silicium und einer darauf
abgeschiedenen epitaktischen Schicht. Die Substratscheibe weist
einen spezifischen Widerstand von 0,1 bis 50 Ωcm , eine
Sauerstoffkonzentration von kleiner als $7,5 \cdot 10^{17} \text{ atcm}^{-3}$ und eine
10 Stickstoffkonzentration von $1 \cdot 10^{13}$ bis $5 \cdot 10^{15} \text{ atcm}^{-3}$ auf. Die
epitaktische Schicht ist 0,2 bis 1,0 μm dick und besitzt eine
Oberfläche, auf der weniger als 30 LLSS-Defekte mit einer Größe
von mehr als 0,085 μm nachweisbar sind.
- Gegenstand der Erfindung ist auch ein Verfahren zur Herstellung
15 der Halbleiterscheibe. Es ist gekennzeichnet durch eine Folge
von Schritten, umfassend:
das Bereitstellen der Substratscheibe mit den genannten
Eigenschaften;
das Aufheizen der Substratscheibe in einem Abscheidereaktor auf
20 eine Abscheidetemperatur von mindestens 1120 $^{\circ}\text{C}$; und
unmittelbar nach dem Erreichen der Abscheidetemperatur das
Abscheiden der epitaktischen Schicht mit einer Dicke von 0,2
bis 1,0 μm .